

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2004年7月22日 (22.07.2004)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2004/061427 A1

(51) 国際特許分類⁷: G01N 13/16, G12B 21/08

(21) 国際出願番号: PCT/JP2003/016677

(22) 国際出願日: 2003年12月25日 (25.12.2003)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2002-378996
2002年12月27日 (27.12.2002) JP

(71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 独立行政法人科学技術振興機構 (JAPAN SCIENCE AND TECHNOLOGY AGENCY) [JP/JP]; 〒332-0012 埼玉県川口市本町四丁目1番8号 Saitama (JP).

(72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 川勝 英樹

(74) 代理人: 清水 守 (SHIMIZU,Mamoru); 〒101-0053 東京都千代田区神田美土代町7番地10 大団ビル Tokyo (JP).

(81) 指定国(国内): KR, RU, US.

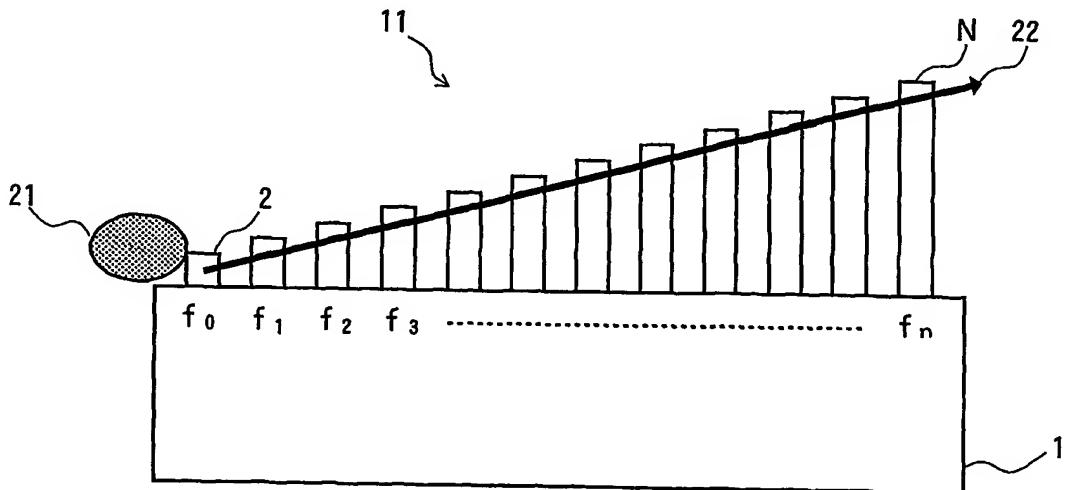
(84) 指定国(広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

添付公開書類:
— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイドノート」を参照。

(54) Title: MEASURING METHOD AND DEVICE FOR VIBRATION FREQUENCY OF MULTI-CANTILEVER

(54) 発明の名称: マルチカンチレバーの振動周波数の計測方法及び装置



(57) Abstract: A measuring method and device for the vibration frequency of a multi-cantilever which eliminate the need of incorporating an exciting or detecting element in each cantilever and simplify the structure of cantilevers by means of optical pumping and optical measuring, and can provide high Q values, and diversities of high-frequency operations and modification methods to cantilevers. A cantilever array (11) in which the natural frequencies of cantilevers (2-n) are mutually different is used, and their natural frequencies are sequentially excited by modulating optical excitation to measure the vibrations by a laser Doppler meter.

WO 2004/061427 A1

(57) 要約: 光励振と光計測を行うことにより、個々のカンチレバーに励振や検出用の素子を組み込む必要がなく、カンチレバーアレーの構造を簡単なものにとどめ、カンチレバーの高いQ値や、高周波作動、修飾方法の多様性を得ることができるマルチカンチレバーの振動周波数の計測方法及び装置を提供する。カンチレバー(2-n)の固有振動数がそれぞれ異なるカンチレバーアレー(11)を用い、その固有振動を変調光励振によって順次励振し、その振動をレーザドップラー計によって計測する。

明 細 書

マルチカンチレバーの振動周波数の計測方法及び装置

技術分野

本発明は、マルチカンチレバーの振動周波数の計測方法及び装置に係り、特にその振動計測、走査型プローブ顕微鏡、質量・物質検出器に関するものである。

背景技術

従来は、カンチレバーごとに配線を行い、振動励振や、信号の取り出しを行ったり、カンチレバーごとに光学グレーチングを組み込み、それぞれの回折パターンからのカンチレバーの変位や振動周波数を計測していた。

このような従来の方法を用いた先行技術としては、下記の非特許文献 1～7 がある。

また、時系列で複数個並んだ光てこ機構で 5 本から 10 本程度のカンチレバーの変位を順次読出した例としては、下記の非特許文献 8 がある。

レーザドップラー計は、振動する試料の振動計測に広く用いられている。このレーザドップラー計をカンチレバーの振動計測に用いて、力、場、物質をセンシングする方法として、本発明者は既に特願 2001-184604 を提案している。

また、光励振は 10 数年来から存在する振動の励振方法であり、下記の非特許文献 9～17 に研究成果が開示されている。

さらに、レーザドップラー計と光励振を組み合わせ、力、場、物質のセンシングを行う方法に関して、本発明者は、PCT/JP02/05835 として提案している。

〔非特許文献 1〕 Microelectromechanical scanning probe instruments for array architectures, Scott A. Miller, Kimberly L. Turner, and Noel C. MacDonald, Review

of Scientific Instruments 68 (1997) 4
155-4162.

[非特許文献2] 2D AFM cantilever arrays a first step towards a Terabit storage device, M. Lutwyche, C. Andreoli, G. Binnig, J. Brugger, U. Drechsler, W. Haeberle, H. Rohrer, H. Rothuizen, P. Vettiger, G. Yaralioglu and C. F. Quate:Sens. & Actuat. A73 (1999) 89.

[非特許文献3] Ultrahigh density, high-data-rate NEMS-based AFM data storage system, P. Vettiger, J. Brugger, M. Despont, U. Drechsler, U. Duri g, W. Haeberle, M. Lutwyche, H. Rothuizen, R. Stutz, R. Widmer and G. Binnig:Micro. Eng. 46 (1999) 11.

[非特許文献4] Integration of through-wafer interconnects with a two-dimensional cantilever array, E. M. Chow, H. T. Soh, H. C. Lee, J. D. Adams, S. C. Minne, G. Yaralioglu, A. Atalar, C. F. Quate and T. W. Kenny:Sens. & Actuat. A83 (2000) 118.

[非特許文献5] Fabrication and characterization of cantilevers with integrated sharp tips and piezoelectric elements for actuation and detection for parallel AFM applications, P. -F. Indermuhle, G. Schurmann, G. -A. Racine and N. F. de Rooij:Sens. & Actuat. A60 (1997) 186.

〔非特許文献6〕 VLSI-NEMS chip for parallel AFM data storage, M. Despont, J. Brugger, U. Drechsler, U. Duerig, W. Haeberle, M. Lutwyche, H. Rothuizen, R. Stutz, R. Widmer, G. Binnig, H. Rohrer and P. Vettiger: Sens. & Actuat. A80 (2000) 100.

〔非特許文献7〕 An artificial nose based on a micromechanical cantilever array, H. P. Lang, M. K. Baller, R. Berger, Ch. Gerber, J. K. Gimzewski, F. M. Battiston, P. Fornero, J. P. Ramseyer, E. Meyer and H. -J. Guntherodt: Analytica Chimica Acta 393 (1999) 59.

〔非特許文献8〕 Sequential position readout from arrays of micromechanical cantilever sensors, H. P. Lang, R. Berger, C. Andreoli, J. Brugger, M. Despont, P. Vettiger, Ch. Gerber, J. K. Gimzewski, J. P. Ramseyer, E. Meyer and H. -J. Guntherodt: Appl. Phys. Lett. 72 (1998) 383.

〔非特許文献9〕 D. W. Satchell, J. C. Greenwood, "A thermally-excited silicon accelerometer," Sens. Act., 17 (1989) 241-245.

〔非特許文献10〕 M. B. Othman and A. Brunnenschweiler, "Electrothermally excited silicon beam mechanical resonators," Elect. Lett., 2 (1987) 728-730.

〔非特許文献11〕 T. S. J. Lammerink, M. Elwenspoek, and J. H. J. Fluitman, "Frequency De

pendence of thermal excitation of micro-mechanical resonators," *Sens. Act. A*, 25-27 (1991) 685-689.

[非特許文献12] H. Yu, Y. Wang, C. Ding, Y. Wang, and Y. Xu, "The characteristics of point-heating excitation in silicon micro-mechanical resonators," *Sens. Act.*, A77 (1999) 187-190.

[非特許文献13] J. Funk, J. Buehler, J. G. Korvink, and H. Baltes, "Thermomechanical modeling of an actuated micromirror," *Sens. Act. A*, 46-47 (1995) 632-636.

[非特許文献14] G. C. Ratcliff, D. A. Erie, and R. Superfine, "Photothermal modulation for oscillating mode atomic force microscopy in solution," *Appl. Phys. Lett.*, 72 (1998) 1911-1913.

[非特許文献15] N. Umeda, S. Ishizaki, and H. Uwai, "Scanning attractive force microscope using photothermal vibration," *J. Vac. Sci. Technol.*, B 9 (1991) 1318-1322.

[非特許文献16] M. Zalalutdinov, A. Zehnder, A. Olkhovets, S. Turner, L. Sekaric, B. Ilic, D. Czaplewski, J. M. Parpia, and H. G. Craighead, "Autoparametric optical drive for micro-mechanical oscillators," *Appl. Phys. Lett.*, 79 (2001) 695-697.

[非特許文献17] Y. -C. Shen, A. Lomonosov, A. F

rass, and P. Hess, "Excitation of higher harmonics in transient laser gratings by an ablative mechanism," *Appl. Phys. Lett.*, 73 (1998) 1640-1642.

[非特許文献18] H. Kawakatsu, S. Kawai, D. Say a, M. Nagashio, D. Kobayashi, H. Toshiyoshi, and H. Fujita, "Towards Atomic Force Microscopy up to 100 MHz," *Review of Scientific Instruments* 73 (2002) 2317.

発明の開示

しかしながら、上記した従来のマルチカンチレバーの検出方法のままでは、カンチレバーの数が数百万や数億にまで増大した場合、マルチカンチレバーの振動周波数の計測は困難になってしまう。

すなわち、従来のマルチカンチレバーで、自己振動、自己振動検出機能を有するものは、カンチレバーの数が増大すると、カンチレバーアレーの構造がより複雑化し、カンチレバー個々の性能が低下することや、カンチレバーアレーに様々な修飾を行うことが困難になるという問題を有する。また、カンチレバーの振動のQ値が低下することが予想される。

そこで、本発明は、上記状況に鑑みて、光乃至電界励振と光計測を行うことにより、個々のカンチレバーに励振や検出用の素子を組み込む必要がなく、カンチレバーアレーの構造を簡単なものにとどめ、カンチレバーの高いQ値や、高周波作動、修飾方法の多様性を得ることができるマルチカンチレバーの振動周波数の計測方法及び装置を提供することを目的とする。

また、多数のカンチレバーの励振数の計測を可能にすることにより、複数のカンチレバーで同一の物質の検出を行うことが可能となり、より多くの物質の検出が可能になる。

本発明は、上記目的を達成するために、

[1] マルチカンチレバーの振動周波数の計測方法において、固有振動数がそ

それぞれ異なる複数のカンチレバーの固有振動を変調励振によって順次励振し、その振動をレーザドップラー計によって計測することを特徴とする。

〔2〕マルチカンチレバーの振動周波数の計測方法において、固有振動数がそれぞれ異なる複数のカンチレバーの固有振動を変調励振によって順次励振し、その振動をホモダイン干渉計によって計測することを特徴とする。

〔3〕上記〔1〕又は〔2〕記載のマルチカンチレバーの振動周波数の計測方法において、前記変調励振は変調光励振であることを特徴とする。

〔4〕上記〔1〕又は〔2〕記載のマルチカンチレバーの振動周波数の計測方法において、前記変調励振は変調電界励振であることを特徴とする。

〔5〕マルチカンチレバーの振動周波数の計測方法において、固有振動数がそれぞれ異なる複数のカンチレバーの固有振動を一定光励振によって順次励振し、その振動をレーザドップラー計によって計測することを特徴とする。

〔6〕マルチカンチレバーの振動周波数の計測方法において、固有振動数がそれぞれ異なる複数のカンチレバーの固有振動を一定光励振によって順次励振し、その振動をホモダイン干渉計によって計測することを特徴とする。

〔7〕マルチカンチレバーの振動周波数の計測装置において、固有振動数がそれぞれ異なる複数のカンチレバーと、そのカンチレバーの固有振動を変調励振によって順次励振する手段と、その振動を計測するレーザドップラー計とを具備することを特徴とする。

〔8〕マルチカンチレバーの振動周波数の計測装置において、固有振動数がそれぞれ異なる複数のカンチレバーと、そのカンチレバーの固有振動を変調励振によって順次励振する手段と、その振動を計測するホモダイン干渉計とを具備することを特徴とする。

〔9〕マルチカンチレバーの振動周波数の計測装置において、固有振動数がそれぞれ異なる複数のカンチレバーと、そのカンチレバーの固有振動を一定光励振によって同時に励振する手段と、その振動を計測するレーザドップラー計とを具備することを特徴とする。

〔10〕マルチカンチレバーの振動周波数の計測装置において、固有振動数がそれぞれ異なる複数のカンチレバーと、そのカンチレバーの固有振動を一定光励

振によって同時に励振する手段と、その振動を計測するホモダイン干渉計とを具備することを特徴とする。

〔11〕上記〔7〕、〔8〕、〔9〕又は〔10〕記載のマルチカンチレバーの振動周波数の計測装置において、前記カンチレバーは列状に配置されたアレーであることを特徴とする。

〔12〕上記〔7〕、〔8〕、〔9〕又は〔10〕記載のマルチカンチレバーの振動周波数の計測装置において、前記カンチレバーは共通の励振スポットによって照射可能な放射状に配置された集合体であることを特徴とする。

〔13〕走査型プローブ顕微鏡において、上記〔7〕、〔8〕、〔9〕又は〔10〕記載のマルチカンチレバーの振動周波数の計測装置を用いて、前記カンチレバーの固有振動数の自励を実現し、それによりカンチレバー先端の探針と試料の相互作用を、自励振動周波数の変化や、自励振動振幅、位相の変化として検出することを特徴とする。

〔14〕質量・物質検出器において、上記〔7〕、〔8〕、〔9〕又は〔10〕記載のマルチカンチレバーの振動周波数の計測装置を用いて、前記カンチレバーの固有振動数の自励を実現し、それによりカンチレバー先端の探針に付着した質量の変化を、自励振動周波数の変化や、自励振動振幅、位相の変化として検出することを特徴とする。

図面の簡単な説明

第1図は、本発明の第1実施例を示す変調光による励振を行う場合のマルチカンチレバーとレーザスポットの模式図（その1）である。

第2図は、本発明の第1実施例を示す変調光による励振を行う場合のマルチカンチレバーとレーザスポットの模式図（その2）である。

第3図は、本発明の第1実施例を示す変調光による励振を行う場合のマルチカンチレバーの振動周波数の計測装置の模式図である。

第4図は、本発明の第2実施例を示す一定光による励振を行う場合のマルチカンチレバーの振動周波数の計測装置の模式図である。

第5図は、本発明の第3実施例を示すカンチレバーの配置構造を示す図である。

第6図は、本発明の第4実施例を示すカンチレバーの配置構造を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

以下、本発明の実施の形態について詳細に説明する。

第1図は本発明の第1実施例を示す変調光による励振を行う場合のマルチカンチレバーとレーザースポットの模式図（その1）、第2図はそのマルチカンチレバーとレーザースポットの模式図（その2）、第3図はそのマルチカンチレバーの振動周波数の計測装置の模式図である。

第1図～第2図において、1は基板、2～Nはカンチレバー、11はカンチレバーアレー（ここでは一列）、21はレーザスポット、22は第1図におけるレーザスポット走査方向、23は第2図におけるレーザスポット走査方向である。

このように、レーザスポット走査は、第1図においては、下方から上方へと行われ、第2図においては、水平方向に行い、このレーザスポット21は光励振と光検出機能を有する。

第3図において、30はレーザドップラー計の計測光、31はレーザドップラー計、32はレーザドップラー計31からの出力が接続されるネットワークアナライザ、33はネットワークアナライザ32に接続される変調光光源、34はその変調光光源から照射される変調光（励振光）である。

ここで、導光手段（図示なし）を用いて計測光30と励振光34を、カンチレバー2上に走査し、レーザスポットが照射されているカンチレバー2の固有振動数をカバーする帯域でネットワークアナライザ32の振動発生用励振信号の周波数を掃引する。レーザスポットの走査と周波数掃引を同期させることにより、レーザスポットをカンチレバー2～Nの列の一端から一端まで走査すると、その列内のカンチレバー2の固有振動数や振幅が計測される。周波数分解能と掃引に要する時間は相反する関係にある。変化がみられたカンチレバーチー群に観察を限定し、その周辺でより細かい観測を行うと使い勝手の良い装置となる。

変調光励振は、レーザスポット走査と、励振光変調周波数をカンチレバーの位置と周波数に合わせる必要がある。その一方、基板とカンチレバーの間のキャビティを必要としない。

例えば、 1000×1000 個のカンチレバーからなるカンチレバーアレーを例に挙げて説明する。

カンチレバーの 1 列の固有振動数を $f_1, f_2, \dots, f_{1000}$ とする。個々の固有振動数は $f_1 < f_2 < f_3 < \dots < f_{1000}$ を満たすものとする。

そこで、レーザドップラー計 31 の計測光 30 を、カンチレバー 2～N の列のうち、N 個のカンチレバーに同時に照射する。振動励振のための変調光 34 をカンチレバーアレー 11 に照射すると、変調光 34 の周波数と、カンチレバーの固有振動数が一致したものの振動が励起される。ネットワークアナライザ 32 の出力信号を用いて光励振信号を駆動し、レーザドップラー計 31 の出力を前記ネットワークアナライザ 32 に接続することにより、複数のカンチレバー 2～N の固有振動数が、複数のピークとしてネットワークアナライザ 32 により計測可能となる。

N の値については、N を増やすと光軸を走査せずに、ネットワークアナライザ 32 により計測可能なカンチレバーの数が増大する一方、レーザドップラー計 31 の SN 比が低下する。そのため、カンチレバーの有効計測面積を増大させるとともに、SN 比の観点から許される最大の N の値を用いる。N が列に含まれるカンチレバーの数を下回る場合は、レーザ光の走査により、観察範囲を拡大する。列ごとに、第 1 列と同一の周波数の繰り返し、 $f_1, f_2, \dots, f_{1000}$ を用いることが可能である。

極端な例として、N = 1 とする場合は、光励振と検出を、ある時刻においては、一本のカンチレバーに対してのみ行う。その際、ネットワークアナライザ 32 の振動発生励振信号の周波数を、該当するカンチレバーの固有振動数をカバーするに足りる帯域に設定する。カンチレバーアレー 11 に対する光スポットの走査と、ネットワークアナライザ 32 の振動発生用励振信号の周波数を同期させ、レーザスポットがある時刻に観察しているカンチレバーの固有振動数をネットワークアナライザ 32 の観測周波数帯域内に存在させることが可能である。

これにより、例えば 1000 本のカンチレバーの列上をレーザスポットで走査し、走査と同期してネットワークアナライザ 32 の振動発生用励振信号の周波数を掃引すると、各カンチレバーの周波数特性を計測することが可能となる。

特定のカンチレバー、例えば、通常 f_0 ヘルツの固有振動数を有するカンチレバーの周波数や振幅が変化した場合、そのカンチレバーが力、場、物質を検出したことが観測者に分かる。

$1 < N < 10$ 程度とすることで、光学検出の SN 比と、周波数掃引とカンチレバー上のレーザスポット走査の同期に対するトレランスを両立させることが可能となる。

以上では、カンチレバーの列ごとの計測を例として挙げたが、カンチレバーアレー 11 の面全体にレーザドップラー計 31 の計測光 30 を照射し、一括で計測することも可能になる。

また、上記したレーザドップラー計による振動の計測に代えて、ホモダイン干渉計によって計測するようにしてもよい。

なお、上記した光励振に代えて、電界励振を用いるようにしてもよい。その場合、各カンチレバーと基板や試料の間の静電容量を用いる。この場合、レーザドップラー計の計測光 30 が照射されているカンチレバーの固有振動数を含むように電界励振の周波数を掃引する。

以上の説明のように、カンチレバーの固有振動数に変化を持たせることにより、計測対象とするカンチレバーを適宜選択可能とし、かつ、カンチレバーアレー全体のカンチレバーを順次計測対象とすることが可能となる。

一定光励振は、基板とのキャビティ長をある波長で励振される寸法にあらかじめ作製する必要があるが、変調を行う必要がないため、観測中のカンチレバーに合わせて励振周波数を制御する必要がない。

このように、それぞれの利点を有する。

次に、一定光による励振を行う場合について説明する。

第 4 図は本発明の第 2 実施例を示す一定光による励振を行う場合のマルチカンチレバーの振動周波数の計測装置の模式図である。

この図において、41 は一定光光源、42 は集光レンズ、43 は一定光（励振光）、51 は光を透過する基板、52 はカンチレバー、53 は基板 51 とカンチレバー 52 間の空隙（キャビティ長 d）である。

例えば、 1000×1000 個のカンチレバーからなるカンチレバーアレーを

例に挙げて説明する。

ここで、カンチレバー 5 2 は光を透過する基板 5 1 との間に空隙 5 3 を持ち、その空隙 5 3 は励振光の波長の $1/2$ の整数倍とする。これにより、一定光 4 3 を照射すると、照射されたカンチレバー 5 2 が自励を開始する。

カンチレバーの 1 列の固有振動数を $f_1, f_2, \dots, f_{1000}$ とする。

そこで、レーザドップラー計 3 1 の計測光 3 0 を、カンチレバーの列のうち、 N 個のカンチレバーに同時に照射する。振動励振のための一定光 4 3 をカンチレバーアレーに照射すると、カンチレバー 5 2 の自励が励起される。複数のカンチレバー 5 2 の固有振動数が、レーザドップラー計 3 1 により計測可能となる。 N の値については、 N を増やすと光軸を走査せずに、計測可能なカンチレバー 5 2 の数が増大する一方、レーザドップラー計 3 1 の SN 比が低下する。そのため、カンチレバー 5 2 の有効計測面積を増大させるとともに、SN 比の観点から許される最大の N の値を用いる。 N が列に含まれるカンチレバー 5 2 の数を下回る場合は、レーザ光の走査により、観察範囲を拡大する。列ごとには、第 1 列と同一の周波数の繰り返し、 $f_1, f_2, \dots, f_{1000}$ を用いることが可能である。

極端な例として、 $N = 1$ とする場合は、光励振と検出をある時刻においては、一本のカンチレバーに対してのみ行う。その際、掃引周波数を、該当するカンチレバーの固有振動数をカバーするに足りる帯域に設定する。カンチレバーアレーに対する光スポットの走査と、レーザドップラー計 3 1 の帯域を同期させ、レーザスポットがある時刻に観察しているカンチレバーの固有振動数をレーザドップラー計 3 1 の観測周波数帯域内に存在させることが可能である。これにより、例えば、1 0 0 0 本のカンチレバーの列上をレーザスポットで走査し、各カンチレバーの周波数特性を計測することが可能となる。

特定のカンチレバー、例えば f_0 ヘルツの固有振動数を有するカンチレバーの周波数や振幅が変化した場合、そのカンチレバーが力、場、物質を検出したことが観測者に分かる。

以上では、カンチレバーの列ごとの計測を例として挙げたが、カンチレバーアレーの面全体にレーザドップラー計 3 1 の計測光 3 0 を照射し、一括で計測することも可能となる。

また、上記したレーザドップラー計による振動の計測に代えて、ホモダイン干涉計によって計測するようにしてもよい。

以上の説明のように、カンチレバーの固有振動数に変化を持たせることにより、計測対象とするカンチレバーを適宜選択可能とし、かつ、カンチレバーアレー全体のカンチレバーを順次計測対象とすることが可能となる。

特定のカンチレバーが変化を生じた場合、そのカンチレバーに着目し、そのカンチレバーの固有振動数近傍を高い周波数分解能で計測することにより、より微小な変化を観測することが可能となる。

一定光励振は、基板とカンチレバーとの間のキャビティ長dをある波長で励振される寸法にあらかじめ作製する必要があるが、変調を行う必要がないため、観測中のカンチレバーに合わせて励振周波数を制御する必要がない。

そして、カンチレバーアレーのファブリケーションの容易さでは、第1実施例が有利であり、励振、走査、掃引の容易さでは、第2実施例が有利となる。

また、上記実施例では、カンチレバーを列状に配置したカンチレバーアレーについて説明したが、以下に説明するように直線状に配置されたカンチレバーでなくてもよい。

第5図は本発明の第3実施例を示すカンチレバーの配置構造を示す図である。

この図においては、島状の基部61から固有振動数がそれぞれ異なる（ここでは、長さが異なる）カンチレバー62～Nが共通のレーザー（励振）スポット71によって照射可能な放射状に配置された集合体となっている。また、不規則に放射状に群生していてもよい。

このような場合には、点線で示されるレーザスポット71をあてることにより、その振動をレーザドップラー計（図示なし）によって計測することができる。

第6図は本発明の第4実施例を示すカンチレバーの配置構造を示す図である。

この図においては、渦巻き状の基部81から固有振動数がそれぞれ異なる（ここでは、長さが異なる）カンチレバー82～Nが共通のレーザスポット91によって照射可能な放射状に配置された集合体となっている。また、不規則に放射状に群生していてもよい。

このような場合には、点線で示されるレーザスポット91をあてることにより、

そのカンチレバーの振動をレーザドップラー計（図示なし）によって計測することができる。

また、第5図、第6図の構造においても、変調電界励振と光検出を組み合わせることが可能である。

なお、本発明は上記実施例に限定されるものではなく、本発明の趣旨に基づいて種々の変形が可能であり、これらを本発明の範囲から排除するものではない。

以上、詳細に説明したように、本発明によれば、以下のような効果を奏することができる。

（A）多数のカンチレバーの周波数特性計測を、レーザスポットの走査と、ネットワークアナライザ等により周波数掃引を同期させることによって可能とする。もしくは、レーザスポットの走査による時系列の振動特性読み取りと、一定光による自励発生を用いて可能とする。1列の走査ごとにカンチレバーの列の周波数特性が同時に計測されるため、複雑な光学パターン認識等を行う必要がなく、光の走査がカンチレバーの行と列方向で完了すると、すべてのカンチレバーの周波数や振幅の計測が終了する。

（B）数100万やそれ以上のカンチレバー数にも適用することができる。

（C）幅が10nmオーダのカンチレバーの光励振、光検出が可能であるため、より高周波での振動励振と検出、より高感度の検出、より高密度でのカンチレバーの集積が可能である。

（D）光励振と光検出をともに光で行うことによる装置の機械部分の単純化、小型化とそれに伴う信頼性の向上と装置の高清净化が得られる。

（E）光励振と光検出をともに光で行うことにより、カンチレバーアレーの構造を単純にとどめ、高い振動Q値、様々な修飾材料の選択、高集積度が得られる。

（F）光励振と光検出をともに光で行うことにより、超高真空、極低温等の特殊環境において、装置の単純化、小型化と高清净化を向上させることができる。

（G）すべてのカンチレバーに対し、一括で電界を変調する変調電界励振と光検出を行うことにより、超高真空、極低温等の特殊環境において、装置の単純化、小型化と高清净化を向上させることができる。

産業上の利用可能性

本発明のマルチカンチレバーの振動周波数の計測方法及び装置は、マルチカンチレバーの振動計測、走査型プローブ顕微鏡、質量・物質検出器に適している。

請求の範囲

1. 固有振動数がそれぞれ異なる複数のカンチレバーの固有振動を変調励振によって順次励振し、その振動をレーザドップラー計によって計測することを特徴とするマルチカンチレバーの振動周波数の計測方法。
2. 固有振動数がそれぞれ異なる複数のカンチレバーの固有振動を変調励振によって順次励振し、その振動をホモダイン干渉計によって計測することを特徴とするマルチカンチレバーの振動周波数の計測方法。
3. 請求項1又は2記載のマルチカンチレバーの振動周波数の計測方法において、前記変調励振は変調光励振であることを特徴とするマルチカンチレバーの振動周波数の計測方法。
4. 請求項1又は2記載のマルチカンチレバーの振動周波数の計測方法において、前記変調励振は変調電界励振であることを特徴とするマルチカンチレバーの振動周波数の計測方法。
5. 固有振動数がそれぞれ異なる複数のカンチレバーの固有振動を一定光励振によって順次励振し、その振動をレーザドップラー計によって計測することを特徴とするマルチカンチレバーの振動周波数の計測方法。
6. 固有振動数がそれぞれ異なる複数のカンチレバーの固有振動を一定光励振によって順次励振し、その振動をホモダイン干渉計によって計測することを特徴とするマルチカンチレバーの振動周波数の計測方法。
7.
 - (a) 固有振動数がそれぞれ異なる複数のカンチレバーと、
 - (b) 該カンチレバーの固有振動を変調励振によって順次励振する手段と、
 - (c) その振動を計測するレーザドップラー計とを具備することを特徴とするマルチカンチレバーの振動周波数の計測装置。
8.
 - (a) 固有振動数がそれぞれ異なる複数のカンチレバーと、
 - (b) 該カンチレバーの固有振動を変調励振によって順次励振する手段と、
 - (c) その振動を計測するホモダイン干渉計とを具備することを特徴とするマル

チカンチレバーの振動周波数の計測装置。

9.

- (a) 固有振動数がそれぞれ異なる複数のカンチレバーと、
- (b) 該カンチレバーの固有振動を一定光励振によって同時に励振する手段と、
- (c) その振動を計測するレーザドップラー計とを具備することを特徴とするマルチカンチレバーの振動周波数の計測装置。

10.

- (a) 固有振動数がそれぞれ異なる複数のカンチレバーと、
- (b) 該カンチレバーの固有振動を一定光励振によって同時に励振する手段と、
- (c) その振動を計測するホモダイン干渉計とを具備することを特徴とするマルチカンチレバーの振動周波数の計測装置。

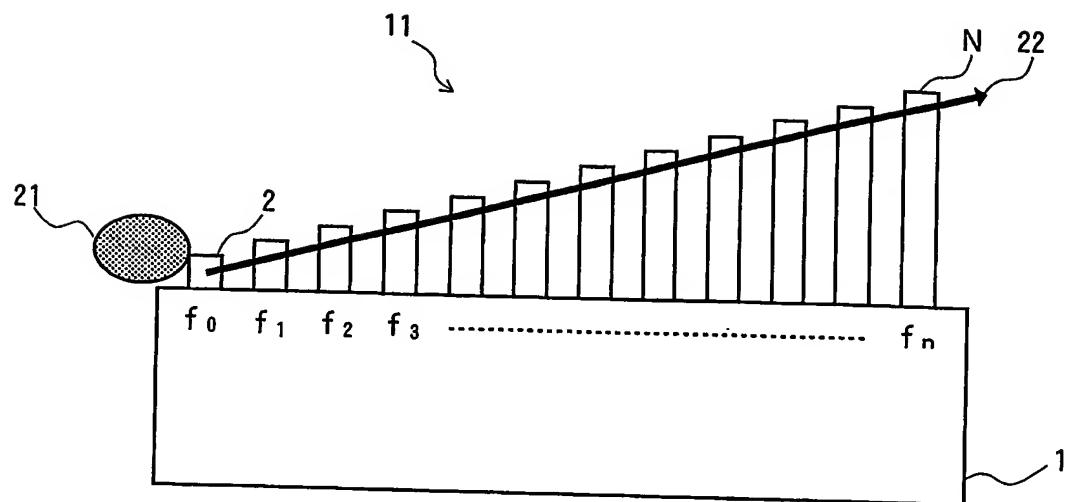
11. 請求項7、8、9又は10記載のマルチカンチレバーの振動周波数の計測装置において、前記カンチレバーは列状に配置されたアレーであることを特徴とするマルチカンチレバーの振動周波数の計測装置。

12. 請求項7、8、9又は10記載のマルチカンチレバーの振動周波数の計測装置において、前記カンチレバーは共通の励振スポットによって照射可能な放射状に配置された集合体であることを特徴とするマルチカンチレバーの振動周波数の計測装置。

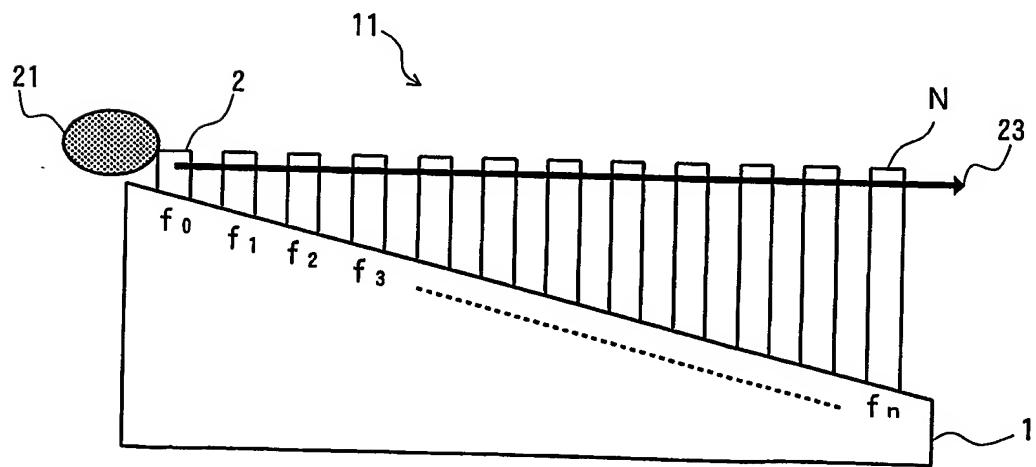
13. 請求項7、8、9又は10記載のマルチカンチレバーの振動周波数の計測装置を用いて、前記カンチレバーの固有振動数の自励を実現し、それによりカンチレバー先端の探針と試料の相互作用を、自励振動周波数の変化や、自励振動振幅、位相の変化として検出することを特徴とする走査型プローブ顕微鏡。

14. 請求項7、8、9又は10記載のマルチカンチレバーの振動周波数の計測装置を用いて、前記カンチレバーの固有振動数の自励を実現し、それによりカンチレバー先端の探針に付着した質量の変化を、自励振動周波数の変化や、自励振動振幅、位相の変化として検出することを特徴とする質量・物質検出器。

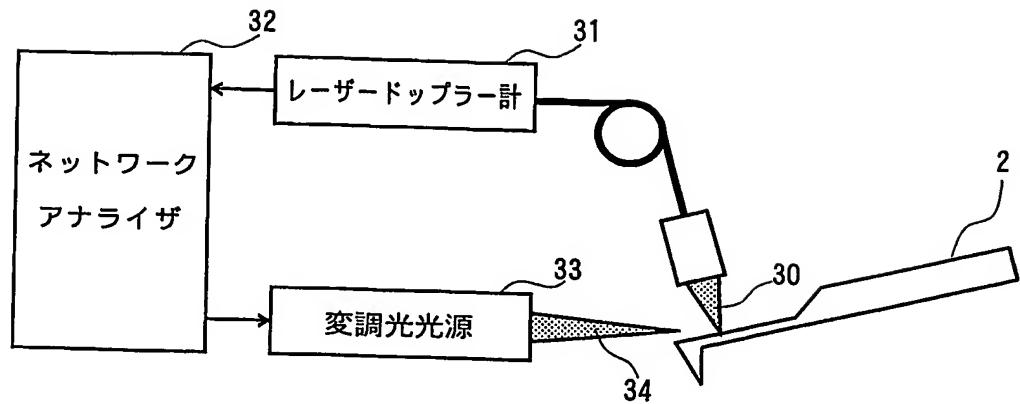
第 1 図



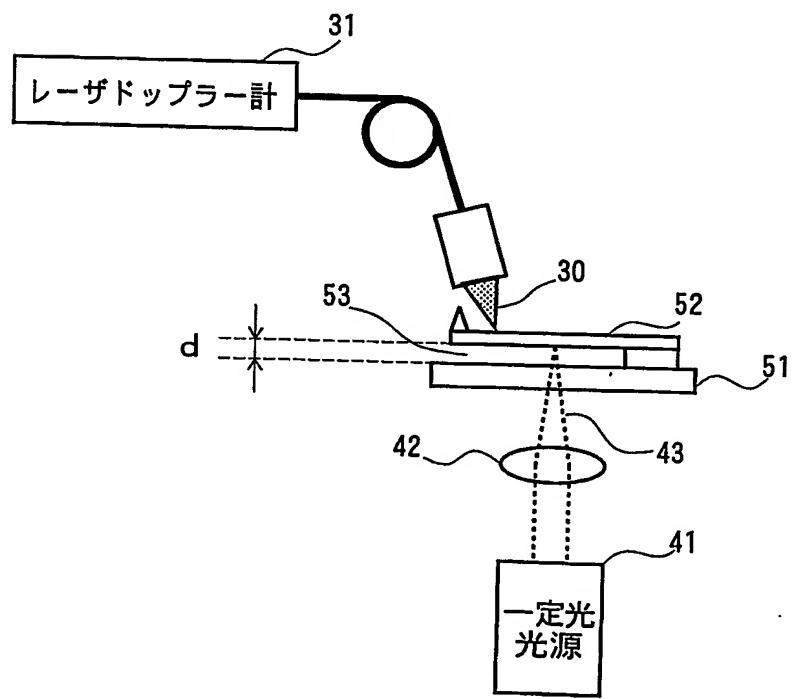
第 2 図



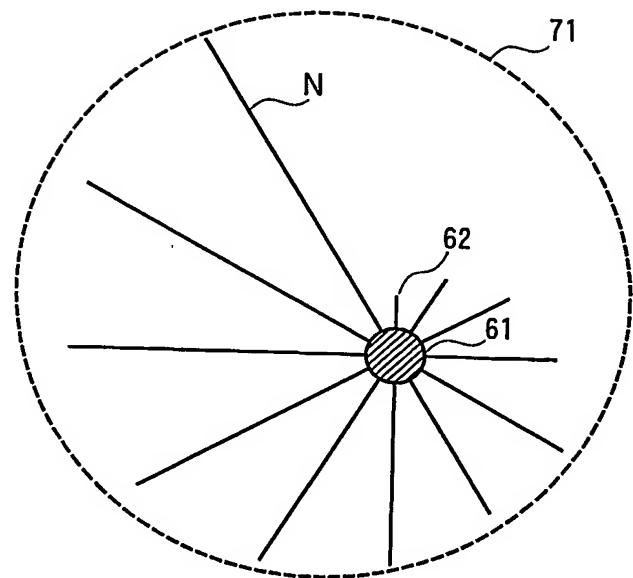
第 3 図



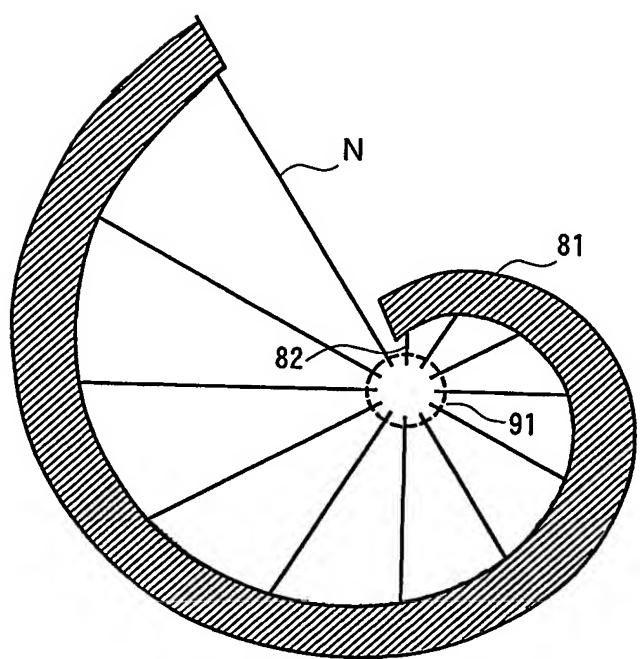
第 4 図



第 5 図



第 6 図



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/16677

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ G01N13/16, G12B21/08

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ G01N13/10-13/24, G12B21/00-21/24

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JICST FILE (JOIS)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	Gerhard Grosch, "Hybrid-optic/Micromechanical Frequency Encoding Displacement Sensor", Sensors and Actuators A, April 1990, Vol.23, Nos.1-3, pages 1128 to 1131	1, 3, 5, 7, 11, 12 2, 4, 6, 8-10, 13, 14
Y	JP 2002-168754 A (Japan Science and Technology Corp.), 14 June, 2002 (14.06.02), Full text; Figs. 1 to 8 (Family: none)	2, 6, 8, 10

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	
"A"	document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E"	earlier document but published on or after the international filing date
"L"	document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O"	document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P"	document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T"	later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X"	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y"	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&"	document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

06 April, 2004 (06.04.04)

Date of mailing of the international search report

27 April, 2004 (27.04.04)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/16677

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 96/24819 A (INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORP.), 15 August, 1996 (15.08.96), Full text; Figs. 1 to 6C & JP 2848539 B2 Full text; Figs. 1 to 6C & JP 9-505899 A Full text; Figs. 1 to 6C & US 5804709 A Full text; Figs. 1 to 6C	4
Y	Hideki KAWAMASA, "100 Manbon no Cantilever to 100 MHz Made no Sosagata Chikarakenbikyo", 2002 Nen (Heisei 14 Nen), Shuki Dai 63 Kai Extended Abstracts; The Japan Society of Applied Physics, separate Vol.0, 24 September, 2002 (24.09.02), 24p-N-3; page 6	9,10,13,14
P,X	JP 2003-114182 A (Japan Science and Technology Corp.),	1-3,5-11,13,
P,X	18 April, 2003 (18.04.03), Full text; Figs. 1 to 25 & WO 02/103328 A Full text; Figs. 1 to 25	14 4,12

国際調査報告

国際出願番号 PCT/JP03/16677

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl' G01N13/16, G12B21/08

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl' G01N13/10-13/24, G12B21/00-21/24

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2004年
日本国登録実用新案公報	1994-2004年
日本国実用新案登録公報	1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

JISCTファイル (JOIS)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	Gerhard Grosch, "Hybrid-optic/Micromechanical Frequency Encoding Displacement Sensor", Sensors and Actuators A, April 1990, Vol. 23, Nos. 1-3, pages 1128-1131.	1, 3, 5, 7, 11, 12
Y	J P 2002-168754 A (科学技術振興事業団), 2002. 06. 14, 全文, 第1-8図, (ファミリーなし)	2, 4, 6, 8-10, 13, 14
Y		2, 6, 8, 10

 C欄の続きにも文献が列挙されている。 パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

- 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
- 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
- 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
- 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
- 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

- 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
- 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
- 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
- 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

06. 04. 04

国際調査報告の発送日

27. 4. 2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)
遠藤 孝徳

2 J 2909

電話番号 03-3581-1101 内線 3250

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	WO 96/24819 A (INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORP.) , 1996. 08. 15, 全文, 第1-6 C図 & JP 2848539 B2, 全文, 第1-6 C図 & JP 9-505899 A, 全文, 第1-6 C図 & US 5804709 A, 全文, 第1-6 C図	4
Y	川勝英樹, “100万本のカンチレバーと100MHzまでの走査型力顯微鏡”, 2002年(平成14年)秋季第63回応用物理学会学術講演会予稿集第0分冊, 2002. 09. 24, 24p-N-3, 第6頁	9, 10, 13, 14
P, X	JP 2003-114182 A (科学技術振興事業団), 2003. 04. 18, 全文, 第1-25図 & WO 02/103328 A, 全文, 第1-25図	1-3, 5-11, 13, 14
P, X		4, 12